

「原子量表 (2017)」について

日本化学会 原子量専門委員会

元素の原子量は 1961 年、「質量数 12 の炭素 (^{12}C) の質量を 12 (端数無し) としたときの相対質量とする」と決められた。以来、質量分析法等の物理的手法による各元素の核種の質量と同位体組成の測定データは、量ともに格段に向上した。国際純正・応用化学連合 (IUPAC) の、原子量および同位体存在度委員会 (CIAAW) では、新しく測定されたデータの収集と検討をもとに、2 年ごと (奇数年) に原子量表の改定を行っている。これを受けて、日本化学会原子量専門委員会では、毎年 4 月にその年の原子量表を公表している。以下に示す 2017 年版の原子量表の数値は IUPAC において 2015 年に承認された原子量の改定^{*1}に基づいている。さらに詳しいことは IUPAC の CIAAW の報告書^{*2} および総説^{*3} を参照していただきたい。

原子量表に記載されている各元素の原子量の値は、単核種元素 (一つの安定核種からなる元素) 以外の元素では、その元素を含む物質の起源や処理の仕方などによって変わりうる。これは原子量がそれぞれの元素を構成している安定核種の相対存在度 (元素の同位体比) に依存するからである。測定技術の進歩によって、各元素の同位体存在度はかならずしも一定ではなく、地球上で起こる様々な過程のために変動し、それが原子量に反映することがわかってきた。そうした背景から、2009 年 IUPAC は 10 の元素については原子量を単一の数値ではなく、変動範囲で示すことを決定した^{*4}。日本化学会原子量専門委員会ではこの変更について検討し、「原子量表 (2011)」以降、IUPAC の方針を反映し、このような元素の原子量を変動範囲で、それ以外の元素については従来通り不確かさを伴う単一の数値で示すことにした。

変動範囲による原子量の表記について

現在、水素、リチウム、ホウ素、炭素、窒素、酸素、マグネシウム、ケイ素、硫黄、塩素、臭素、タリウムの 12 元素の原子量に変動範囲で示されている。これらの元素は地球上で採取された試料や試薬中の同位体組成の変動が大きいことが知られている。以前は変動範囲が概ね含まれるように原子量の値とその不確かさが定められ、その範囲に含まれない地質学的試料がある場合には“g”、人為的な同位体分別を受けた試薬が一般的に利用されている可能性がある場合には“m”の注が記された。また、このように変動範囲が大きい測定技術が進歩しても精度のよい原子量を与えることができない元素には“r”という注が記された。例えば水素について様々な試料の同位体組成とそれに対応する原子量を下図に示す。最上段に原子量の変動範囲 1.00784~1.00811、次に「原子量表 (2010)」の値 1.00794 ± 0.00007 が示されており、その下に様々な試料で測定された値が示されている。黒丸で示された点は代表的な同位体標準物質の値で、水素の同位体組成の測定精度は“best measurement”^{*5} で $\pm 0.000\ 000\ 05$ であり、「原子量表 (2010)」までの値に付けられていた不確かさに比べて 1/1000 以下である。このような状況において不確かさを伴った単一の数値で表記すると、次のような問題点があった：

- ・原子量の不確かさを測定精度と誤解される恐れがある。
- ・原子量の値の分布は元素によって様々であり、ガウス分布をすることは限らない。
- ・新しい測定がそれまでの原子量の範囲を超えた場合、その値を含むように不確かさだけでなく原子量の値も変更しなければならない可能性がある。
- ・定められた原子量の値を持つ実際の物質を見つけることはしばしば難しく、場合によっては不可能である。

この改定でこのような元素の原子量は 1 つの値ではなく、知られているすべての試料の原子量が含まれるように変動範囲で表され、原子量は一定ではないことを明確に示した。また、この変動範囲の中での分布は原子量表には示されておらず、元素によって様々な分布を持っている^{*4}。したがって、下記の点に注意してこの変動範囲を使用する必要がある：

- ・変動範囲の中間点を原子量の値、変動幅の半分を不確かさとして表記しないこと。
- ・上限、下限の値は地球上の通常物質の測定値に測定誤差を加味して定められているが、それ自体の値は不確かさを持っていない。
- ・原子量の値として可能な限りの桁数を与えているので、場合によっては最後の桁がゼロである場合も表記する。

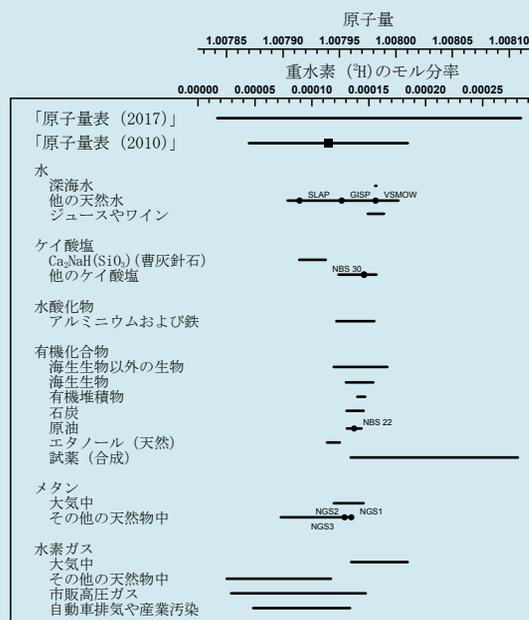
* 1. IUPAC Inorganic Chemistry Division, CIAAW: Standard Atomic Weight of Ytterbium Revised, *Chem. Int.*, **37**(5-6), 26 (2015).

* 2. J. Meija *et al.*: Atomic Weights of the Elements 2015 (IUPAC Technical Report), *Pure Appl. Chem.*, to be published. J. Meija *et al.*: Atomic Weights of the Elements 2013 (IUPAC Technical Report), *Pure Appl. Chem.*, **88**, 265 (2016).

* 3. J. R. De Laeter *et al.*: Atomic Weights of the Elements: Review 2000 (IUPAC Technical Report), *Pure Appl. Chem.*, **75**, 683 (2003).

* 4. M. E. Wieser and T. B. Coplen: Atomic Weights of the Elements 2009 (IUPAC Technical Report), *Pure Appl. Chem.*, **83**, 359 (2011).

* 5. M. Berglund and M. E. Wieser: Isotopic Compositions of the Elements 2009 (IUPAC Technical Report), *Pure Appl. Chem.*, **83**, 397 (2011).



原子量表 (2017)

(元素の原子量は、質量数 12 の炭素 (¹²C) を 12 とし、これに対する相対値とする。但し、この¹²C は核および電子が基底状態にある結合していない中性原子を示す。)

多くの元素の原子量は通常物質中の同位体存在度の変動によって変化する。そのような 12 の元素については、原子量の変動範囲を $[a, b]$ で示す。この場合、元素 E の原子量 $A_r(E)$ は $a \leq A_r(E) \leq b$ の範囲にある。ある特定の物質に対してより正確な原子量が知りたい場合には、別途求める必要がある。その他の 72 元素については、原子量 $A_r(E)$ とその不確かさ (括弧内の数値) を示す。不確かさは有効数字の最後の桁に対応する。

原子番号	元素名	元素記号	原子量	脚注	原子番号	元素名	元素記号	原子量	脚注
1	水素	H	[1.00784, 1.00811]	m	60	ネオジウム	Nd	144.242 (3)	g
2	ヘリウム	He	4.002602 (2)	g r	61	プロメチウム*	Pm		
3	リチウム	Li	[6.938, 6.997]	m	62	サマリウム	Sm	150.36 (2)	g
4	ベリリウム	Be	9.0121831 (5)		63	ユウロピウム	Eu	151.964 (1)	g
5	ホウ素	B	[10.806, 10.821]	m	64	ガドリニウム	Gd	157.25 (3)	g
6	炭素	C	[12.0096, 12.0116]		65	テルビウム	Tb	158.92535 (2)	
7	窒素	N	[14.00643, 14.00728]	m	66	ジスプロシウム	Dy	162.500 (1)	g
8	酸素	O	[15.99903, 15.99977]	m	67	ホルミウム	Ho	164.93033 (2)	
9	フッ素	F	18.998403163 (6)		68	エルビウム	Er	167.259 (3)	g
10	ネオン	Ne	20.1797 (6)	gm	69	ツリウム	Tm	168.93422 (2)	
11	ナトリウム	Na	22.98976928 (2)		70	イッテルビウム	Yb	173.045 (10)	g
12	マグネシウム	Mg	[24.304, 24.307]		71	ルテチウム	Lu	174.9668 (1)	g
13	アルミニウム	Al	26.9815385 (7)		72	ハフニウム	Hf	178.49 (2)	
14	ケイ素	Si	[28.084, 28.086]		73	タンタル	Ta	180.94788 (2)	
15	リン	P	30.973761998 (5)		74	タンゲステン	W	183.84 (1)	
16	硫黄	S	[32.059, 32.076]		75	レニウム	Re	186.207 (1)	
17	塩素	Cl	[35.446, 35.457]	m	76	オスミウム	Os	190.23 (3)	g
18	アルゴン	Ar	39.948 (1)	g r	77	イリジウム	Ir	192.217 (3)	
19	カリウム	K	39.0983 (1)		78	白金	Pt	195.084 (9)	
20	カルシウム	Ca	40.078 (4)	g	79	金	Au	196.966569 (5)	
21	スカンジウム	Sc	44.955908 (5)		80	水銀	Hg	200.592 (3)	
22	チタン	Ti	47.867 (1)		81	タリウム	Tl	[204.382, 204.385]	
23	バナジウム	V	50.9415 (1)		82	鉛	Pb	207.2 (1)	g r
24	クロム	Cr	51.9961 (6)		83	ビスマス*	Bi	208.98040 (1)	
25	マンガン	Mn	54.938044 (3)		84	ポロニウム*	Po		
26	鉄	Fe	55.845 (2)		85	アスタチン*	At		
27	コバルト	Co	58.933194 (4)		86	ラドン*	Rn		
28	ニッケル	Ni	58.6934 (4)	r	87	フランシウム*	Fr		
29	銅	Cu	63.546 (3)	r	88	ラジウム*	Ra		
30	亜鉛	Zn	65.38 (2)	r	89	アクチニウム*	Ac		
31	ガリウム	Ga	69.723 (1)		90	トリウム*	Th	232.0377 (4)	g
32	ゲルマニウム	Ge	72.630 (8)		91	プロトアクチニウム*	Pa	231.03588 (2)	
33	ヒ素	As	74.921595 (6)		92	ウラン*	U	238.02891 (3)	gm
34	セレン	Se	78.971 (8)	r	93	ネプツニウム*	Np		
35	臭素	Br	[79.901, 79.907]		94	プルトニウム*	Pu		
36	クリプトン	Kr	83.798 (2)	gm	95	アメリカシウム*	Am		
37	ルビジウム	Rb	85.4678 (3)	g	96	キュリウム*	Cm		
38	ストロンチウム	Sr	87.62 (1)	g r	97	バークリウム*	Bk		
39	イットリウム	Y	88.90584 (2)		98	カリホルニウム*	Cf		
40	ジルコニウム	Zr	91.224 (2)	g	99	アインスタイニウム*	Es		
41	ニオブ	Nb	92.90637 (2)		100	フェルミウム*	Fm		
42	モリブデン	Mo	95.95 (1)	g	101	メンデレビウム*	Md		
43	テクネチウム*	Tc			102	ノーベリウム*	No		
44	ルテニウム	Ru	101.07 (2)	g	103	ローレンシウム*	Lr		
45	ロジウム	Rh	102.90550 (2)		104	ラザホージウム*	Rf		
46	パラジウム	Pd	106.42 (1)	g	105	ドブニウム*	Db		
47	銀	Ag	107.8682 (2)	g	106	シーボーギウム*	Sg		
48	カドミウム	Cd	112.414 (4)	g	107	ボーリウム*	Bh		
49	インジウム	In	114.818 (1)		108	ハッシウム*	Hs		
50	スズ	Sn	118.710 (7)	g	109	マイトネリウム*	Mt		
51	アンチモン	Sb	121.760 (1)	g	110	ダームスタチウム*	Ds		
52	テルル	Te	127.60 (3)	g	111	レントゲニウム*	Rg		
53	ヨウ素	I	126.90447 (3)		112	コペルニシウム*	Cn		
54	キセノン	Xe	131.293 (6)	gm	113	ニホニウム*	Nh		
55	セシウム	Cs	132.90545196 (6)		114	フレロビウム*	Fl		
56	バリウム	Ba	137.327 (7)		115	モスコビウム*	Mc		
57	ランタン	La	138.90547 (7)	g	116	リバモリウム*	Lv		
58	セリウム	Ce	140.116 (1)	g	117	テネシン*	Ts		
59	プラセオジウム	Pr	140.90766 (2)		118	オガネソン*	Og		

* : 安定同位体のない元素。これらの元素については原子量が示されていないが、ビスマス、トリウム、プロトアクチニウム、ウランは例外で、これらの元素は地球上で固有の同位体組成を示すので原子量が与えられている。
g : 当該元素の同位体組成が通常物質が示す変動幅を越えるような地質学的試料が知られている。そのような試料中では当該元素の原子量とこの表の値との差が、表記の不確かさを越えることがある。
m : 不詳な、あるいは不適切な同位体分別を受けたために同位体組成が変動した物質が市販品中に見いだされることがある。そのため、当該元素の原子量が表記の値とかなり異なることがある。
r : 通常の地球上の物質の同位体組成に変動があるために表記の原子量より精度の良い値を与えることができない。表中の原子量および不確かさは通常物質に適用されるものとする。

原子量表 (2010)

(元素の原子量は、質量数12の炭素(¹²C)を12とし、これに対する相対値とする。但し、¹²Cは核および電子が基底状態にある中性原子である。)

多くの元素の原子量は一定ではなく、物質の起源や処理の仕方に依存する。原子量とその不確かさは地球上に起源をもち、天然に存在する物質中の元素に適用される。この表の脚注には、個々の元素に起こりうるもので、原子量に付随する不確かさを越える可能性のある変動の様式が示されている。原子番号112から118までの元素名は暫定的なものである。

元素名	元素記号	原子番号	原子量	脚注	元素名	元素記号	原子番号	原子量	脚注
アインスタイニウム*	Es	99			ツリウム	Tm	69	168.93421(2)	
亜鉛	Zn	30	65.38(2)	r	テクネチウム*	Tc	43		
アクチニウム*	Ac	89			鉄	Fe	26	55.845(2)	
アスタチン*	At	85			テルビウム	Tb	65	158.92535(2)	
アメリカシウム*	Am	95			テールル	Te	52	127.60(3)	g
アルゴン	Ar	18	39.948(1)	g r	銅	Cu	29	63.546(3)	r
アルミニウム	Al	13	26.9815386(8)		ドブニウム*	Db	105		
アンチモン	Sb	51	121.760(1)	g	トリウム*	Th	90	232.03806(2)	g
硫黄	S	16	32.065(5)	g r	ナトリウム	Na	11	22.98976928(2)	
イッテルビウム	Yb	70	173.054(5)	g	鉛	Pb	82	207.2(1)	g r
イットリウム	Y	39	88.90585(2)		ニオブ	Nb	41	92.90638(2)	
イリジウム	Ir	77	192.217(3)		ニッケル	Ni	28	58.6934(4)	r
インジウム	In	49	114.818(3)		ネオジウム	Nd	60	144.242(3)	g
ウラン*	U	92	238.02891(3)	gm	ネオジム	Ne	10	20.1797(6)	gm
ウンウンオクチウム*	Uuo	118			ネプツニウム*	Np	93		
ウンウンクアジウム*	Uuq	114			ノーベリウム*	No	102		
ウンウントリウム*	Uut	113			バークリウム*	Bk	97		
ウンウンヘキシウム*	Uuh	116			白金	Pt	78	195.084(9)	
ウンウンベンチウム*	Uup	115			ハッシウム*	Hs	108		
エールビウム	Er	68	167.259(3)	g	バナジウム	V	23	50.9415(1)	
塩素	Cl	17	35.453(2)	gmr	ハフニウム	Hf	72	178.49(2)	
オスミウム	Os	76	190.23(3)	g	パラジウム	Pd	46	106.42(1)	g
カドミウム	Cd	48	112.411(8)	g	バリウム	Ba	56	137.327(7)	
ガドリニウム	Gd	64	157.25(3)	g	ビスマス*	Bi	83	208.98040(1)	
カリウム	K	19	39.0983(1)		ヒ素	As	33	74.92160(2)	
ガリウム	Ga	31	69.723(1)		フェルミウム*	Fm	100		
カリホルニウム*	Cf	98			フッ素	F	9	18.9984032(5)	
カルシウム	Ca	20	40.078(4)	g	プラセオジウム	Pr	59	140.90765(2)	
キセノン	Xe	54	131.293(6)	gm	フランシウム*	Fr	87		
キュリウム*	Cm	96			プルトニウム*	Pu	94		
金	Au	79	196.966569(4)		プロトアクチニウム*	Pa	91	231.03588(2)	
銀	Ag	47	107.8682(2)	g	プロメチウム*	Pm	61		
クリプトン	Kr	36	83.798(2)	gm	ヘリウム	He	2	4.002602(2)	g r
クロム	Cr	24	51.9961(6)		ベリリウム	Be	4	9.012182(3)	
ケイ素	Si	14	28.0855(3)	r	ホウ素	B	5	10.811(7)	gmr
ゲルマニウム	Ge	32	72.64(1)		ボーリウム*	Bh	107		
コバルト	Co	27	58.933195(5)		ホルミウム	Ho	67	164.93032(2)	
コペルニシウム*	Cn	112			ポロニウム*	Po	84		
サマリウム	Sm	62	150.36(2)	g	マイトネリウム*	Mt	109		
酸素	O	8	15.9994(3)	g r	マグネシウム	Mg	12	24.3050(6)	
ジスプロシウム	Dy	66	162.500(1)	g	マンガン	Mn	25	54.938045(5)	
シーボーギウム*	Sg	106			メンデレビウム*	Md	101		
臭素	Br	35	79.904(1)		モリブデン	Mo	42	95.96(2)	g r
ジルコニウム	Zr	40	91.224(2)	g	ユウロピウム	Eu	63	151.964(1)	g
水銀	Hg	80	200.59(2)		ヨウ素	I	53	126.90447(3)	
水素	H	1	1.00794(7)	gmr	ラザホージウム*	Rf	104		
スカンジウム	Sc	21	44.955912(6)		ラジウム*	Ra	88		
スズ	Sn	50	118.710(7)	g	ラドン*	Rn	86		
ストロンチウム	Sr	38	87.62(1)	g r	ランタン	La	57	138.90547(7)	g
セシウム	Cs	55	132.9054519(2)		リチウム	Li	3	[6.941(2)] [†]	gmr
セリウム	Ce	58	140.116(1)	g	ルテチウム	Lu	71	174.9668(1)	g
セレン	Se	34	78.96(3)	r	ルテニウム	Ru	44	101.07(2)	g
ダームスタチウム*	Ds	110			ルビジウム	Rb	37	85.4678(3)	g
タリウム	Tl	81	204.3833(2)		レニウム	Re	75	186.207(1)	
タングステン	W	74	183.84(1)		レントゲニウム*	Rg	111		
炭素	C	6	12.0107(8)	g r	ロジウム	Rh	45	102.90550(2)	
タンタル	Ta	73	180.94788(2)		ローレンシウム*	Lr	103		
チタン	Ti	22	47.867(1)						
窒素	N	7	14.0067(2)	g r					

#: 不確かさは()内の数字であらわれ、有効数字の最後の桁に対応する。例えば、亜鉛の場合の65.38(2)は65.38±0.02を意味する。
 *: 安定同位体のない元素(前ページの下段の表参照)。これらの元素については原子量が示されていないが、プロトアクチニウム、トリウム、ウランは例外で、これらの元素は地球上で固有の同位体組成を示すので原子量が与えられている。
 †: 市販品中のリチウム化合物中のリチウムの原子量は6.939から6.996の幅をもつ(「元素の同位体組成表2010」の注bを参照)。より正確な原子量が必要な場合は、個々の物質について測定する必要がある。
 g: 当該元素の同位体組成が正常な物質が示す変動幅を越えるような地質学的試料が知られている。そのような試料中では当該元素の原子量とこの表の値との差が、表記の不確かさを越えることがある。
 m: 不詳な、あるいは不適切な同位体分別を受けたために同位体組成が変動した物質が市販品中に見いだされることがある。そのため、当該元素の原子量が表記の値とかなり異なることがある。
 r: 通常の地球上の物質の同位体組成に変動があるために表記の原子量より精度の良い値を与えることができない。表中の原子量は通常の物質すべてに適用されるものとする。